

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 19/02/2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – CAMPUS BOTUCATU/SP

**Impactos da estrutura ambiental nas vocalizações de
Troglodytes musculus Naumann, 1823 (Aves,
Troglodytidae)**

Guilherme Sementili Cardoso

Botucatu/SP

2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – CAMPUS BOTUCATU/SP

**Impactos da estrutura ambiental nas vocalizações de
Troglodytes musculus Naumann, 1823 (Aves,
Troglodytidae)**

Guilherme Sementili Cardoso

Tese apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Botucatu como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas no Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - Área de Concentração Zoologia.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo José Donatelli

Botucatu/SP

2020

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Cardoso, Guilherme Sementili.

Impactos da estrutura ambiental nas vocalizações de
Troglodytes musculus Naumann, 1823 (Aves, Troglodytidae) /
Guilherme Sementili Cardoso. - Botucatu, 2020

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de
Botucatu

Orientador: Reginaldo José Donatelli

Capes: 20404000

1. Aves. 2. Vocalização animal. 3. Comportamento
animal. 4. Urbanização. 5. Ruído. 6. Bioacústica.

Palavras-chave: Bioacústica; Comportamento animal;
Ornitologia; Poluição; Ruído.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), processo nº 134084/2016.

Agradeço à toda a minha família de origem, meu suporte para todos os momentos. Agradeço à minha mãe, a Dona Valentina, pelos dias de carinho e amor, e por todo o auxílio quando eu mais precisei; ao meu pai, Carlos, por todo carinho; e ao Vinícius, meu irmão, por ser companheiro, amigo, orientador, tudo ao mesmo tempo. Agradeço também aos meus tios e tias, e minhas primas, e que sempre deram suporte de todas as maneiras possíveis.

Agradeço também a todos os meus amigos do Laboratório de Ornitologia. Foram momentos muito gratos de coleta, de diversão e de compartilhamentos. Sem eles, dificilmente este trabalho teria sido concluído. Agradeço especialmente aos amigos: Fernanda, Renata, Raphael (Branco), Rafael (Preto), Rafael (Mochila), Raphael (Coxim) e Leonardo. Faço menção honrosa para aquela faz falta, a Ana Luiza (Zi). Mesmo com a distância e o pouco contato, ainda são prazerosas as nossas conversas.

De maneira semelhante, preciso agradecer aos meus amigos de campo. Nestes anos, executei diversas atividades de pesquisa e conservação, sempre na companhia destes mesmos sujeitos: Maffei, Tayar, Fred e Hudson. Foram muitos (e muitos) dias de campo, muitos (e muitos) quilômetros rodados, todos eles prazerosos, mesmo nos dias mais complicados.

Preciso também agradecer à minha família musical. São tantas pessoas maravilhosas que seriam necessárias inúmeras páginas para elencar uma a uma. De maneira especial, agradeço aos amigos do Quarteto Maia: Ana Luisa, Beatriz e Eder. A companhia de vocês tornou meus dias mais alegres. De modo especial, agradeço também aos regentes, maestros e amigos, Irandi e Paulo Maia (e também à querida Cristiane). A toda esta grande família musical, sou extremamente grato por todas as experiências magníficas e gratificantes. Cada fim de semana, cada apresentação, cada ensaio e cada vivência musical foi importante na minha formação músico e como ser humano.

Também preciso agradecer aos amigos que a vida (e a faculdade me trouxeram) e que ficaram no meu coração: Junia, Sakai, Lucas, Dante e Marquinhos. Todos vocês são lindos e especiais, cada um à sua maneira. O convívio com vocês é aquilo que me dá alegria e força. Aos amigos, agradeço a todos os que já passaram, aos que estão e aos que virão.

De modo especial, agradeço ao meu orientador, o Prof. Dr. Reginaldo José Donatelli. Ele sempre acreditou em meu potencial desde a graduação e me forneceu todos os subsídios necessários para desenvolver esta linha de pesquisa, tão nova e fascinante, que é a Bioacústica. Além disso, ele me orientou e “ocidentou”, e permitiu que eu conhecesse novos mundos, tanto dentro da pesquisa quanto fora dela. Fora isso, todas as oportunidades, recursos e caminhos dentro da pesquisa foram pavimentados pelo trabalho dele, e permitiu o meu desenvolvimento como cientista e como pessoa. Sempre foi chefe e amigo, companheiro e supervisor, tudo ao mesmo tempo.

E por último, o mais importante. Agradeço à Natacha (e também aos meus filhos peludos: Kaoru, Yuri, Nutti, Bast, Francisco, Milk e Pã). Agradeço por tudo. Por compartilhar todos os momentos, os bons e os ruins. Por ter sido a melhor coisa que me aconteceu nestes anos (e em todos da minha vida). Por estar disponível e disposta, e por me amar desta maneira tão peculiar e tão linda. Por me deixar entrar na sua vida, em todos os seus detalhes. Por ser o meu suporte mesmo nas horas mais obscuras. Por permitir que estes meses se tornassem anos. Enfim, obrigado por ser tão você.

Acordai, corações adormecidos
Que o Deus do Amor vos chama.
Neste primeiro dia de Maio,
As aves farão maravilhas
Para vos retirar do desânimo.
Desentupam vossas orelhas
E vós sereis tocados pela alegria
Pois a estação será boa

Le chant des oyseaulx, *Clement Janecquin*

Resumo

O canal sonoro é um dos principais meios de comunicação animal. Como o som se propaga pelo ambiente, qualquer onda sonora é passível de ser alterada pelas condições do ambiente onde o emissor se insere. Determinadas características da estrutura do ambiente podem alterar a capacidade de um sinal ser detectado, como cobertura vegetal, condições climáticas, turbulência aérea, entre outros. Assim, o ambiente pode exercer uma pressão seletiva na estrutura do sinal sonoro, fazendo com que os indivíduos alterem as características de seus sinais para maximizar a propagação do som em determinados ambientes. No contexto atual, a urbanização crescente vem modificando as condições naturais das paisagens sonoras, fazendo com que a estrutura acústica do ambiente também se modifique. Juntamente com a urbanização, a descaracterização das paisagens naturais diminui a cobertura vegetal, cria anomalias térmicas e aumenta o ruído ambiental, tornando o ambiente acústico muito distinto das condições originais. Assim sendo, a urbanização configura-se como um obstáculo importante para a comunicação sonora, principalmente em grupos animais que utilizam o som como mediador de suas atividades biológicas, como as aves. Por isso, faz-se necessário que haja um conhecimento de como o ambiente urbano afeta a estrutura vocal das populações animais que vivem inseridas em tal ambiente. Deste modo, o objetivo desta tese é verificar as possíveis variações vocais entre duas populações disjuntas de *Troglodytes musculus*, buscando relacionar estas variações à estrutura abiótica do ambiente. Foram analisadas as vocalizações de machos isolados que estavam vocalizando espontaneamente de poleiros expostos em ambientes abertos, evitando que as vocalizações fossem afetadas pela cobertura vegetal, pelas interações sociais e por objetos artificiais. Foram computados três parâmetros importantes dentro das emissões vocais da espécie: a amplitude sonora, a estrutura espectral e a complexidade sonora. Os índices obtidos pelos três parâmetros foram relacionados com a estrutura ambiental e com parâmetros morfométricos dos indivíduos. Por meio destas análises, observa-se que existe uma divergência vocal entre as duas populações. Esta divergência é influenciada principalmente pela absorção atmosférica do som e pelo ruído ambiental originado do tráfego de veículos. De modo geral, a intensidade e a frequência sonora tendem a aumentar com o ruído e com a absorção sonora. Isto indica que a estrutura abiótica do hábitat exerce uma pressão sobre as vocalizações da espécie, fazendo com que a expressão vocal seja adaptada para as condições ambientais em que o indivíduo se insere.

Palavras-chave: adaptação acústica, ecoacústica, drive sensorial, condições climáticas, ruído antropogênico.

Abstract

The sound channel is one of the main media of animal communication. As sound travels through the environment, any sound wave can be altered by the conditions of the environment in which the emitter is inserted. Certain features of the environmental structure can alter the ability of signal discrimination, such as vegetation cover, weather conditions, and air turbulence, among others. Thus, the environment might exert selective pressure on the sound signal structure, causing alterations on features of the signals to maximize sound propagation in certain environments. In the current context, increasing urbanization has been changing the natural conditions of soundscapes, causing the acoustic structure of the environment to change as well. Along with urbanization, the vegetation cover is reduced, thermal anomalies are created and environmental noise is increased, making the acoustic environment very different from the original conditions. Thus, urbanization is an important obstacle for sound communication, especially in animal groups that use sound as a mediator of their biological activities, such as birds. Therefore, it is necessary to have a knowledge of how the urban environment affects the vocal structure of living animal populations inserted in such environment. Thus, the objective of this thesis is to verify the possible vocal variations between two disjoint populations of *Troglodytes musculus*, seeking to relate these variations to the abiotic structure of the environment. The vocalizations of isolated males that were spontaneously vocalizing from perches exposed in open environments were analyzed, preventing the vocalizations from being affected by vegetation cover, social interactions and artificial objects. Three important parameters within the vocal emissions of the species were computed: amplitude, spectral structure and sound complexity. The indices obtained by the three parameters were related to the environmental structure and morphometric parameters of the individuals. Through these analyzes, I observed the existence of vocal divergence between the two populations. This divergence is mainly influenced by atmospheric sound absorption and environmental noise from traffic. In general, sound intensity and frequency tend to increase with noise and sound absorption. This indicates that the abiotic structure of the habitat puts pressure on the vocalizations of the species, causing the vocal expression to be adapted to the environmental conditions in which the individual is inserted.

Keywords: acoustic adaptation, ecoacoustics, sensory drive, climatic conditions, anthropogenic noise.

Lista de Figuras

Figura 1. Indivíduo de <i>Troglodytes musculus</i> capturado durante a pesquisa.	24
Figura 2. Mapa de distribuição dos indivíduos amostrados, onde cada círculo corresponde a um indivíduo. Os círculos vermelhos correspondem aos indivíduos próximos à rodovia, enquanto os azuis correspondem aos indivíduos distantes. As linhas cinzentas representam as duas rodovias (SP-300 e SP-225). Fonte: Google Earth Engine, 2020.....	44
Figura 3. Variação nos níveis de ruído e amplitude vocal entre os grupos próximo e distante de <i>Troglodytes musculus</i>	48
Figura 4. Relações lineares entre a amplitude sonora de <i>Troglodytes musculus</i> e a absorção sonora (esquerda) e o ruído ambiental (direita). As linhas pretas representam a regressão linear para cada modelo parcial.....	49
Figura 5. Espectrogramas de frequência (direita) e oscilogramas (esquerda) dos arquivos vocais analisados. Estão discriminados exemplos de vocalizações de indivíduos situados próximos da rodovia (A03) e distantes (B20).....	64
Figura 6. Espectros de amplitude dos arquivos vocais analisados. Estão discriminados exemplos de vocalizações de indivíduos situados próximos da rodovia (A03) e distantes (B20). As áreas coloridas (azul e vermelha) representam os limites da vocalização dentro do espectro. Os círculos representam as frequências de pico para cada vocalização. A área acinzentada no gráfico da esquerda representa as bandas de ruído antropogênico.	64
Figura 7. Distribuição das variáveis preditoras nos dois grupos (próximo e distante).	67
Figura 8. Distribuição das variáveis vocais nos dois grupos (próximo e distante).....	69
Figura 9. Regressões lineares múltiplas entre os preditores e as variáveis vocais. Cada quadrado representa um indivíduo dos grupos próximo e distante da rodovia. As variáveis foram plotadas com os valores preditos padronizados, que estão descritos no eixo X. Também estão descritos a natureza positiva ou negativa dos preditores. As linha pretas representam a linha de regressão para cada modelo.....	71
Figura 10. Ordenação multidimensional não-métrica das características vocais de <i>T. musculus</i> . Os polígonos delimitam os contornos multivariados para cada grupo (próximo e distante). Os quatro eixos representam a ordenação dos preditores de variação (ruído, atenuação, PC de tamanho corporal e massa corporal). Os dados demonstram uma boa aderência ao modelo proposto (estresse = 0,148).	72
Figura 11. Espectrogramas de frequência dos arquivos sonoros avaliados. Estão exemplificados duas vocalizações pertencentes a cada um dos grupos: próximo (A03) e distante (B20) da rodovia. Nota-se que ambas apresentam as seções introdutória e terminal.	90
Figura 12. Regressões lineares múltiplas entre os preditores (ruído, absorção sonora e massa corporal) e as variáveis de complexidade vocal. Cada quadrado representa um indivíduo pertencente a um dos grupos. Plotei as variáveis junto com os valores preditos padronizados para o conjunto de preditores (descritos abaixo do eixo X). A natureza da relação (positiva ou negativa) está discriminada juntamente com cada preditor. A linha preta representa a linha de regressão para cada modelo.....	92
Figura 13. Curvas de rarefação da diversidade silábica dos grupos próximo e distante da rodovia. Os quadrados representam os valores observados para cada grupo, enquanto a linha pontilhadas representam a extrapolação dos dados	93
Figura 14. Ordenação multidimensional não-métrica (nMDS) das características sintáticas analisadas. Os quatro eixos representam os preditores de variação vocal (absorção, ruído, CP de tamanho corporal e massa). Os polígonos delimitam os limites alcançados pelas amostras em cada um dos grupos (próximo e distante).....	93

Lista de Tabelas

Tabela 1. Coeficientes extraídos da análise de componente principal utilizado para sintetizar as variáveis de tamanho corporal de (<i>Troglodytes musculus</i>).	47
Tabela 2. Diferença nas variáveis avaliadas nos indivíduos situados próximo e distante da rodovia de <i>Troglodytes musculus</i> . Os dados de cada variável estão representados por média $\pm$ desvio padrão (n – número de amostras, t – valor do teste t , g.l. – graus de liberdade, p – nível de significância).	48
Tabela 3. Testes de normalidade (Shapiro-Wilk), homocedasticidade (Levene) e análise de variância (ANOVAs) para cada variável vocal transformada. Os valores que apresentaram diferenças significativas foram destacados ($p < 0,05$).	68
Tabela 4. Resumo dos modelos de regressão linear para cada variável. Estão descritos apenas os modelos que tiveram significância estatística ($p < 0,05$). Para cada um, está exibido o coeficiente de regressão (r), o coeficiente de determinação (r^2), os graus de liberdade (gl.1 e gl.2), o valor da estatística F e o nível de significância. Também estão exibidos os valores dos coeficientes parciais β e os valores de t para cada preditor.	70
Tabela 6. Variação nos parâmetros vocais analisados. Os valores representam a média $\pm$ desvio padrão para os grupos próximo e distante da rodovia. Também estão exibidos os valores da estatística F , de significância estatística (p) e de variância total em um determinado parâmetro vocal (η^2). Os valores em negrito representam as variáveis que variaram significativamente entre os grupos.	91
Tabela 7. Modelos de regressão linear para cada variável. Estão exibidos apenas as regressões que apresentaram um nível de significância $p < 0.05$. Além disso, estão discriminados os coeficientes de regressão (r), de determinação (r^2), os valores de F e de significância (p). Além disso, também exibidos os coeficientes parciais β e os valores de t para cada preditor.	91

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1. Comunicação sonora	13
1.2. Vocalização de aves	15
1.3. Transmissão sonora no ambiente	17
1.4. Urbanização e transmissão sonora ambiental.....	19
1.4.1. A questão do ruído antropogênico	19
1.4.2. Estrutura acústica do ambiente urbano	22
1.5. Espécie de Estudo.....	24
1.6. Justificativa.....	26
1.7. Objetivos	27
1.7.1. Objetivos Gerais.....	27
1.7.2. Objetivos Específicos.....	28
1.8. Referências	29
2. CAPÍTULO 1 – RUÍDO ANTROPOGÊNICO E ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA DO SOM INDUZEM A VARIAÇÕES NA AMPLITUDE DAS VOCALIZAÇÕES DE <i>Troglodytes musculus</i>	38
2.1. Resumo.....	38
2.2. Abstract	39
2.3. Introdução.....	40
2.4. Material e métodos	42
2.4.1. Seleção dos indivíduos em campo	42
2.4.2. Captura, marcação e morfometria	44
2.4.3. Medidas acústicas	45
2.4.4. Análise de dados	46
2.5. Resultados	47
2.6. Discussão.....	49
2.7. Referências	52
3. CAPÍTULO 2 – RUÍDO DO TRÁFEGO E ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA DO SOM AFETAM A ESTRUTURA ACÚSTICA DAS VOCALIZAÇÕES DE <i>Troglodytes musculus</i>	58
3.1. Resumo.....	58
3.2. Abstract	59
3.3. Introdução.....	60
3.4. Material e métodos	62
3.4.1. Seleção, captura e medição dos indivíduos.....	62
3.4.2. Gravação das vocalizações.....	62
3.4.3. Medidas acústicas	63

3.4.4. Tratamento e análise dos dados	65
3.5. Resultados	67
3.6. Discussão.....	72
3.7. Referências	76
4. CAPÍTULO 3 - FATORES AMBIENTAIS INFLUENCIAM NA COMPLEXIDADE SINTÁTICA DAS VOCALIZAÇÕES DE <i>Troglodytes musculus</i>	82
4.1. Resumo.....	82
4.2. Abstract	83
4.3. Introdução.....	84
4.4. Material e métodos	85
4.4.1. Seleção, captura e medição dos indivíduos.....	85
4.4.2. Registro das vocalizações	86
4.4.3. Parâmetros sintáticos.....	86
4.4.4. Estimativa da diversidade silábica	88
4.4.5. Análise dos dados.....	88
4.5. Resultados	89
4.5.1. Composição sintática das vocalizações.....	89
4.5.2. Divergência entre os grupos.....	90
4.6. Discussão.....	94
4.7. Referências	97
CONCLUSÃO.....	104
APÊNDICES.....	105

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Comunicação sonora

A comunicação é uma área extremamente importante dentro do estudo do comportamento animal, já que as interações sociais entre indivíduos são baseadas na troca de informação. Os animais apresentam diversos mecanismos para transmitir mensagens, emitindo sinais que envolvem canais químicos, visuais, acústicos, químicos e elétricos para realizar tal função (ALCOCK, 1989). Para que a comunicação ocorra, um emissor deve codificar uma mensagem em sinal, para que este seja transmitido através de um meio e atinja um receptor (SHANNON & WEAVER, 1949). Ao receber o sinal, o receptor pode responder ajustando seu comportamento (BRADBURY & VEHRENCAMP, 2011). Assim sendo, a comunicação depende da intencionalidade do emissor e da capacidade de interpretação do receptor. Todo esse processo é estruturado para criar uma relação entre emissor e receptor, buscando um ajuste de ambos ao ambiente (SILVA, 2001).

Para se comunicar através de longas distâncias, os animais podem transmitir suas mensagens por meio de diversos canais. Contudo, aqueles que são mais utilizados dentro do meio terrestre são os canais químicos, visuais e acústicos (ALCOCK, 1989). Cada um destes canais apresenta vantagens e desvantagens em seu uso para a comunicação. O uso de determinado canal por uma espécie depende das limitações fisiológicas de seus sistemas sensoriais e motores, além de estar relacionado com a viabilidade ecológica para o contexto onde a espécie se insere (JOHNSGARD, 1967). Os sinais visuais são muito empregados devido ao seu baixo custo energético. Contudo, a disponibilidade de luz e a obstrução por obstáculos são fatores que limitam o seu uso (CATCHPOLE & SLATER, 2008). Já os sinais químicos não apresentam as mesmas desvantagens do canal anterior, pois possuem um alto alcance de detecção e propagam-se ao redor dos obstáculos ambientais, além de não dependerem da luminosidade. Entretanto, sua persistência no ambiente torna difícil uma mudança rápida no conteúdo da mensagem, fazendo com que não sejam adequados para a transmissão de mensagens complexas, que sofrem mudanças no decorrer do processo comunicativo (MARLER & SLABBEKOORN, 2004; CATCHPOLE & SLATER, 2008)

Por sua vez, os sinais acústicos são rápidos e transientes, o que os torna ideais para a transmissão rápida de informação através de um meio. Eles também não dependem da luminosidade para ser transmitido. Por ser uma onda mecânica, o som pode se propagar em todas as direções em um meio fluido, permitindo que ele seja transmitido em volta (e até mesmo através) de obstáculos (ALCOCK, 1989). A rápida transiência sonora torna fácil o ajuste de resposta ao contexto em que o emissor se insere. Porém, eles são mais custosos aos indivíduos que os produzem porque cada vez que um som é emitido, os músculos respiratórios e fonadores destes gastam energia para a sua produção (BRACKENBURY, 1979).

Qualquer evento que se interponha no processo de comunicação dificulta a decodificação da mensagem por parte do receptor (BRADBURY & VEHRENCAMP, 2011). Um dos pressupostos básicos da comunicação sonora em animais é de que os sinais evoluem para aumentar sua eficiência de transmissão de informação, buscando a diminuição do gasto energético (WILEY & RICHARDS, 1985). Assim, dado um determinado tempo evolutivo, os sinais sonoros mais eficazes são selecionados dentro de um certo contexto, priorizando características como eficiência de transmissão, alcance e conteúdo de informação (BRUMM & NAGUIB, 2009).

A informação contida em um sinal é o resultado da associação entre a estrutura do sinal com as interferências do meio. O conteúdo de informação do sinal é sempre maior na fonte (informação transmitida) do que no local de recepção (informação recebida) (WILEY & RICHARDS, 1978). Esta diferença entre a informação que foi transmitida e a que foi recebida é denominado *ruído*. De uma perspectiva centrada na teoria da comunicação, o ruído é qualquer perturbação que afeta um sinal e pode distorcer a informação carregada por ele (SHANNON & WEAVER, 1949). Assim, o ruído na comunicação reduz a eficácia da transmissão de um sinal por um canal, e pode levar tanto o receptor quanto o emissor a modificarem seu comportamento para aumentar a eficácia de transmissão frente a um obstáculo (BRUMM & NAGUIB, 2009).

1.2. Vocalização de aves

A vocalização das aves é extremamente diversificada e representa um dos maiores exemplos de plasticidade comportamental do reino animal. A maioria das vocalizações é distinta para cada espécie, e diversos estudos têm documentado nas últimas décadas uma ampla variação de sinais vocais em diferentes níveis de organização, incluindo específico, populacional, e individual (PODOS, 2004). Sendo assim, atualmente, diversos pesquisadores têm trabalhado para entender as origens da diversidade fenotípica nos sinais sonoros.

Tal diversidade surge, principalmente, dentro da estrutura sonora de uma vocalização. Esta “estrutura” refere-se às características componentes de uma onda sonora: período, frequência, amplitude e comprimento de onda (CATCHPOLE & SLATER, 2008). A modulação destas características sonoras cria uma variedade marcante, permitindo a expressão de sinais distintos, mesmo dentro de uma mesma espécie ou indivíduo (PODOS, 2004).

Portanto, é necessário padronizar as definições e nomenclaturas com relação sinais vocais de aves, para que seja possível a análise comparativa de seus elementos. Historicamente, as vocalizações de aves têm sido denominadas dicotomicamente ou como “cantos” ou como “chamados”¹. “Cantos” tendem a ser tratados como vocalizações complexas, com padrões intrincados, sendo utilizados exclusivamente por indivíduos machos durante a estação reprodutiva (GILL, 2007; CATCHPOLE & SLATER, 2008). Já “chamados” seriam considerados vocalizações mais simples, curtas, estereotipadas e executadas por ambos os sexos (CATCHPOLE & SLATER, 2008). Entretanto, tal dicotomia é vazia de significado, já que não existe qualquer diferença na estrutura acústica, emissão, recepção e desenvolvimento entre cantos e chamados (GILL, 2007). SPECTOR (1994), em uma extensa revisão sobre o uso da terminologia que fundamenta o estudo das vocalizações de aves, demonstra que os critérios para a adoção dos termos “canto” e “chamado” são obscuros, geralmente

¹ Considera-se, para efeitos de tradução, que o termo “canto” é equivalente ao termo “*song*”, enquanto “chamado” é traduzido do termo “*call*”. Ambos os termos traduzidos são adaptados de publicações científicas originalmente escritas em língua inglesa. Por isso, as traduções em português também carregam os preceitos e bases históricas antropomórficas que fundamentam as designações dos sinais vocais das aves.

se pautando em argumentos vazios de significado biológico, sendo atribuído à tradição e ao costume dos pesquisadores dentro da Ornitologia.

Sendo assim, neste texto, considerarei os sinais vocais emitidos por aves como “vocalizações”. Este termo é carregado de relevância biológica, pois designa os sinais sonoros emitidos por um aparelho fonador específico (*i. e.* siringe) que utiliza o fluxo de ar vindo do sistema respiratório como fonte de energia para a produção de sinais (BRACKENBURY, 1982). Esta terminologia diferencia os sinais acústicos vocais daqueles produzidos por outras estruturas, como o tamborilar produzido pelo bico ou o farfalhar produzido pelas asas (BYERS & KROODSMA, 2016). Não existem provas conclusivas de que aves são capazes de produzir sentenças que apresentem uma sintaxe lexical típica das composições humanas (MOLINO, 2000). Ainda que algumas delas vocalizem em padrões semelhantes aos modos tonais e rítmicos da música humana (ARAYA-SALAS, 2012; RAVIGNANI, 2015), a mensagem transmitida por suas vocalizações ainda não atinge um nível simbólico abstrato que permita comparar a evolução deste “canto” das aves com a música humana.

Pelo mesmo motivo, utilizarei o termo “elemento” para designar as menores unidades sonoras constituintes da vocalização, e não “nota”, que é normalmente empregado (CATCHPOLE & SLATER, 2008). O conjunto destes elementos, agrupados em uma unidade sonora composta, foi denominado “sílabas” (MARLER & SLABEKOORN, 2004). A organização destas sílabas em conjuntos temporais foi denominada “frase”, já que este termo compreende organizações sintáticas em vários níveis de complexidade (BERWICK *et al.*, 2011). Deste modo, uma vocalização é composta de conjuntos de motivos organizados temporalmente.

As pesquisas recorrentes sobre a vocalização das aves tendem a enfatizar a influência da estrutura acústica na evolução dos processos comunicativos. Tal qual a maioria dos sinais de acasalamento, a seleção sexual tem uma grande influência no desenvolvimento de características sonoras elaboradas e distintas (SEARCY & YASUKAWA, 1996). A seleção intra-sexual também pode contribuir para a diversificação das vocalizações, favorecendo certos padrões sonoros que sejam capazes de distinguir indivíduos por meio de seus sinais acústicos (LAMBRECHTS & DHONDT, 1995). Nas

espécies que possuem vocalização baseadas em aprendizado, as vocalizações podem diversificar-se rapidamente por meio do acúmulo de imprecisões de cópia durante a transmissão cultural (PAYNE, 1996). A diversidade vocal também pode variar como resposta à história da vida ou à variáveis ecológicas (SEDDON, 2005).

Embora a vocalização das aves possa ser suscetível a mudanças ao longo do tempo evolutivo, tais evoluções geralmente apresentam algumas limitações. Assim como quaisquer outras características fenotípicas, a evolução vocal é moldada por restrições intrínsecas à variação genética e ao design mecânico das estruturas morfológicas (PODOS, 2004). A compreensão destas restrições são de grande valia, pois ajudam a especificar os limites de expressão fenotípica que podem ocorrer, bem como sobre quais traços o processo seleção pode atuar (PERRIN & TRAVIS, 1992).

1.3. Transmissão sonora no ambiente

Assim como qualquer canal de comunicação, o som impõe certos obstáculos na sua propagação. Dentre os principais fatores que dificultam a transmissão eficaz de um sinal sonoro, estão a atenuação e degradação sonora (WILEY & RICHARDS, 1982; BRUMM & NAGUIB, 2009). A atenuação é a somatória de vários eventos acústicos que ocorrem simultaneamente, como a absorção atmosférica, a dispersão sonora e a atenuação por obstáculos, sendo dependente das bandas de frequência do sinal emitido (EMBLETON, 1996). Este evento acústico causa a diminuição da amplitude sonora no decorrer da transmissão do sinal, tornando o som menos intenso e menos capaz de atingir um possível receptor. A ação da atenuação tende a ser mais expressiva em sinais de alta frequência sonora (BASS, 1990), sendo um fator marcante na expressão sonora de animais que dependem destas bandas para se comunicar, como aves e morcegos (SNELL-ROOD, 2012).

Já a degradação sonora afeta a estrutura do sinal por meio dos efeitos combinados da reverberação e das flutuações de amplitude (WILEY & RICHARDS, 1982). Estes efeitos tendem a afetar a estrutura temporal dos sinais através da interação das múltiplas reflexões e difrações sonoras sobre um sinal carreador (BRUMM & NAGUIB, 2009). Em ambientes fechados, a reverberação causada

pela folhagem e pelos troncos das árvores é um dos principais fatores que degrada um sinal sonoro (NAGUIB, 2003). Já em ambientes abertos, as flutuações bruscas de temperaturas, que frequentemente estão associadas aos gradientes de turbulência do ar, podem afetar o sinal sonoro de uma maneira mais efetiva do que a vegetação do entorno (WILEY & RICHARDS, 1978).

Juntamente com a atenuação e a degradação, o ruído ambiental² pode ser um fator preponderante na transmissão de um sinal acústico. A magnitude da interferência na comunicação acústica depende da sobreposição espectral entre o sinal e o ruído (BRUMM & SLABBEKOORN, 2005). Quanto mais similares entre si, maior será a competição entre o ruído ambiental e o sinal, fazendo com que este último seja mascarado pelas bandas espectrais do ruído (BRUMM & ZOLLINGER 2011; FRANCIS & BARBER, 2013). Assim, o ruído ambiental pode ser outro fator crucial, que pode modificar a expressão vocal dos indivíduos (BRUMM & NAGUIB, 2009).

Deste modo, os efeitos da degradação, da atenuação e do ruído diminuem o espaço ativo de um sinal, que corresponde à distância máxima que um sinal pode percorrer mantendo suas características originais (CATCHPOLE & SLATER, 2008). Para superar estes obstáculos e maximizar a transmissão de informação, um emissor pode ajustar as características do sinal ao contexto ambiental onde se insere. Assim, a Hipótese de Adaptação Acústica, proposta por Eugene S. Morton (1975), postula a existência de uma convergência estrutural de sinais acústicos emitidos por animais situados em ambientes de estrutura semelhante. Segundo esta hipótese, as pressões seletivas dependentes do ambiente teriam moldado a estrutura acústica das vocalizações de aves, priorizando um maior alcance sonoro (BONCORAGLIO & SAINO, 2007).

Contudo, estes ajustes mostram-se mais complexos do que o proposto pela Hipótese da Adaptação Acústica. Como a vocalização de aves é um mediador de comportamento sexual, os atributos físicos do sinal acústico estão sujeitos a forte seleção sexual (MAAN & SEEHAUSER, 2011). Deste modo,

² Neste caso, o *ruído ambiental* não deve ser confundido com o *ruído de canal* que foi definido anteriormente. Considerando uma perspectiva mais ampla, a atenuação e a degradação também poderiam ser consideradas como casos particulares de ruído, como definido por Shannon & Weaver (1949). Contudo, o termo *ruído ambiental* vai ser utilizado na sua conotação mais comum, designando os sons presentes no ambiente que competem com um sinal pelo espaço acústico durante a transmissão sonora.

o exagero de certos traços sexuais pode ser reforçado sob contextos reprodutivos, mesmo quando não são condizentes com os limites impostos pelo ambiente (WILKINS, 2013). Por isso, muitas vezes, existe uma correlação intrínseca entre a coevolução dos sinais, dos sistemas sensoriais e da escolha de ambientes, que afetam tanto a emissão quanto a recepção dos sinais transmitidos (ENDLER, 1992).

1.4. Urbanização e transmissão sonora ambiental

1.4.1. A questão do ruído antropogênico

Quase todas as espécies do planeta foram, de alguma forma, afetadas pelas atividades humanas (SWADDLE *et al.*, 2015). Este impacto ocorre, principalmente, por meio de cinco mecanismos: perda ou fragmentação de hábitat, exploração direta, dispersão de espécies exóticas, mudanças climáticas e vários tipos de poluição (IPCC, 2007; SIH *et al.*, 2011). Embora estas cinco modalidades sejam complexas e afetem as espécies de maneiras distintas, elas compartilham o fato de que são mudanças ambientais rápidas induzidas pelos humanos. Os organismos submetidos a estas mudanças sofrem novas pressões seletivas, que geralmente envolvem taxas de modificações muito mais rápidas que as decorrentes do processo evolutivo (PALUMBI, 2001).

Deste modo, os impactos das atividades humanas ecoam em todas as esferas do meio ambiente, inclusive nas relações entre a paisagem e a sua composição sonora. Nos últimos anos, diversos pesquisadores têm voltado seus olhares para as relações intrínsecas entre os sons emitidos pelos animais e aqueles que são produzidos pelo ambiente, dentro do campo da Ecologia Acústica. O principal enfoque deste ramo da ciência é a análise da paisagem acústica, definida como as características acústicas de uma área que refletem seus processos naturais (SCHAFER, 1993). Os componentes das paisagens acústicas podem ser divididos em três grupos: biofonias, que correspondem à composição de sons produzidos pelos organismos vivos; geofonias, que tratam dos sons não biológicos produzidos por fenômenos ambientais abióticos; e as antropofonias, que correspondem aos sons produzidos pelas atividades humanas (KRAUSE, 1987; PIJANOWSKI *et al.*, 2011).

Tal divisão decorre da natureza estrutural de cada uma das categorias. O ruído antropofônico é diferente dos geofônicos e biofônicos, já que, geralmente, são mais intensos e possuem menores bandas de frequências que os naturais (BRUMM & SLABBEKOORN, 2005; MCGREGOR, 2013). Os ruídos antropogênicos podem atuar de maneira pontual ou contínua. Ruídos pontuais incluem impulsos sonoros de alta intensidade e tendem a causar impactos agudos, como danos temporários ou permanentes aos sistemas auditivos. Já os ruídos contínuos levam à efeitos crônicos, como estresse e mascaramento sonoro (MCGREGOR, 2013). Deste modo, a exposição a ruídos afeta negativamente os mecanismos sensoriais que permitem aos animais interagir com o meio (SWADDLE *et al.*, 2015). Os sistemas auditivos mediam comportamentos essenciais para a sobrevivência dos organismos, como escolha de parceiros reprodutivos, defesa de território, forrageamento e evasão de predadores (BRADBURY & VEHRENCAMP, 2011). Quando tais sistemas são perturbados pela poluição sonora, tais comportamentos se tornam menos eficientes, o que afeta a sobrevivência dos indivíduos. O mascaramento dos sinais sonoros emitidos pelos organismos pelo ruído é um dos mecanismos de interferência mais estudados (FRANCIS & BARBER, 2013). Contudo, o ruído excessivo pode afetar a percepção de perigos (SHANNON, 2014) e afetar a concentração do animal (CHAN, 2010). Estes fatores podem alterar vários comportamentos e características que são importantes para a sobrevivência.

As rápidas mudanças nos níveis de ruído estão acontecendo numa escala global, similares aos processos de mudança na cobertura do solo e mudanças climáticas (SWADDLE *et al.*, 2015). Estudos são necessários para compreender como este processo de perturbação acelerado afeta a vida dos animais. Grande parte do conhecimento da influência do ruído sonoro excessivo em animais é focado nos efeitos comportamentais a curto prazo. Organismos podem responder a esta perturbação com determinada tolerância (FRANCIS & BARBER, 2013; SLABBEKOORN, 2013) ou então fugir para evitá-la (FRANCIS, 2009).

De modo geral, o ruído influencia a fisiologia, a morfologia e o comportamento dos indivíduos (SLABBEKOORN & RIPMEESTER, 2008; SWADDLE *et al.*, 2015) e em um nível populacional,

pode alterar parâmetros como abundância e densidade (FRANCIS & BARBER, 2013). Para reagir em um ambiente ruidoso, animais consomem mais energia, reduzem o tempo e/ou a eficácia de forrageamento, e perdem oportunidades de reprodutivas. Uma das mudanças comportamentais se refere ao aumento de vigilância durante o tempo gasto em alimentação (RABIN, 2006). Quando submetidos a ruídos intenso, indivíduos de *Fringilla coelebs* gastam menos tempo com suas cabeças abaixadas para procurar alimento (QUINN, 2006), sugerindo que estas aves precisam confiar mais nos sinais visuais do que nos auditivos. Este maior risco de predação tem reflexos negativos nas taxas de ingestão de alimento, que tem efeito nas taxas de sobrevivência e de sucesso (SLABBEKOORN & RIPMEESTER, 2008).

O ruído também pode ser uma barreira na detecção entre animais da mesma espécie. Algumas espécies de aves dependem do comportamento vocal para delimitar territórios. Para isso, as características de suas vocalizações, como frequência, amplitude e repertório vocal, exercem influência direta na manutenção deste território. A mensagem codificada na estrutura da vocalização é determinante para a sua defesa (RIPMEESTER, 2007), já que a transmissão efetiva da mensagem pode prevenir possíveis competidores de se aproximar, evitando um gasto excessivo de energia e de tempo, além de diminuir os riscos de ferimentos por competição (BRADBURY & VEHRENCAMP, 2011; SLABBEKOORN & RIPMEESTER, 2008). Outros efeitos comportamentais em animais incluem a erosão do vínculo reprodutivos entre parceiros já definidos (SWADDLE & PAGE, 2007; DES AUNAY, 2014), aumento do tempo de forrageamento (SIEMERS & SCHAUB, 2010) e diminuição no aprendizado (CHENG, 2011).

Entre as aves, os efeitos comportamentais mais documentados são as variações na estrutura acústica das vocalizações que ocorrem para evitar os efeitos do mascaramento sonoro (PATRICELLY & BLICKLEY, 2006). O aumento da intensidade de ruídos urbanos pode prejudicar a recepção destes sinais, o que leva algumas aves a alterar a estrutura bioacústica destas emissões para adequar a transmissão no ambiente acústico local. Primeiramente, as aves podem aumentar os valores de amplitude em resposta ao ruído, como postulado pelo Efeito de Lombard (LOMBARD,

1911). Tal efeito é bem documentado em aves (BRUMM & TODT, 2000; KATTI & WARREN, 2004; NEMETH, 2013; SCHUSTER *et al.*, 2013; KIGHT & SWADDLE, 2015; RIÓS-CHELEN, 2015; ZOLLINGER & BRUMM, 2015). O ruído também pode causar uma tendência de aumento nos valores gerais de frequência das vocalizações das aves (SLABBEKOORN & SMITH, 2002; SLABBEKOORN & PEET, 2003; FERNÁNDEZ-JURICIC *et al.*, 2005; BERMÚDEZ-CUAMATZIN, 2009; ODEN *et al.*, 2015; POTVIN & MACDOUGALL-SHACKLETON, 2015), já que ele predomina nos valores de frequência mais baixos. Sendo assim, as aves tenderiam a aumentar os valores de frequência para evitar o mascaramento sonoro de suas vocalizações. O ruído também pode exercer pressão seletiva nos padrões temporais das vocalizações. Aves situadas em ambientes ruidosos apresentam vocalizações mais longas, tanto na duração das sílabas (HAMAO & WATANABE, 2011; GOUGH, 2014) quanto na redundância do sinal sonoro (FICKEN, 1974; BRUMM & SLATER, 2006; HAMAO & WATANABE, 2011). Esta perturbação também influencia a estrutura do repertório vocal, fazendo com que as aves emitam vocalizações com uma menor variedade de sílabas (HALFEWERK & SLABBEKOORN, 2009; CARTWRIGHT, 2014). Além disso, o excesso de ruído pode modificar a distribuição de organismos e diminuir o sucesso reprodutivo da espécie afetada, causando uma divergência evolutiva da espécie (WARREN, 2006; ZOLLINGER, 2013).

1.4.2. Estrutura acústica do ambiente urbano

Além do ruído abundante, a zona urbana impõe outros obstáculos para a comunicação animal. A estrutura das cidades é composta de diversas edificações artificiais, com superfícies planas compostas de materiais reflectantes (como metal, concreto e vidro), que afetam principalmente a reverberação dos sons (WARREN *et al.*, 2006). Enquanto a vegetação natural tende a atenuar e diminuir o alcance sonoro, as construções urbanas podem refletir os sons por diversas vezes (KATTI & WARREN, 2004). Este efeito, denominado “cânion urbano”, faz com que a onda sonora original seja degradada pelas interações com as sucessivas reflexões, causando um fenômeno de eco de vibração. Assim, a

onda resultante possui uma estrutura diferente daquela emitida, tendo perdido parte de seu conteúdo de informação ao ser transmitida em um ambiente urbano (PATRICELLI & BLICKLEY, 2006).

De modo semelhante, as condições climáticas urbanas são bem distintas daquelas encontradas nos ambientes naturais, o que pode consequentemente afetar a transmissão sonora por intermédio da atenuação atmosférica. Ambientes urbanos tendem a ser mais quentes e mais secos, com ventos menos intensos, e com uma variação climática mais ampla do que ambientes naturais (KAUFFMAN, 2007). Como os fenômenos de atenuação e degradação atmosférica do som são dependentes de temperatura e da umidade (BASS *et al.*, 1990; EMBLETON, 1996), as condições de propagação de sinais acústicos em ambientes urbanos é muito variável, o que pode refletir em pressões seletivas diferenciais sobre as populações animais que habitam ambientes urbanos (KATTI & WARREN, 2004).

Atualmente, já existem evidências que debatem a influência da configuração ambiental do ambiente urbano na vocalização de aves, demonstrando que existem diversos aspectos que moldam a expressão vocal das aves além do ruído. Como os efeitos de reverberação e atenuação são dependentes da frequência, determinadas bandas são transmitidas de maneira mais eficiente, e podem ser beneficiadas em ambientes urbanos (PATRICELLI & BLICKLEY, 2006; SLABBEKOORN, 2007). Job *et al.* (2016) demonstraram que indivíduos de *Spizella passerina* vocalizam com frequências de pico menores em ambientes densamente urbanizados, independentemente do nível de ruído do ambiente.

Portanto, a questão da comunicação em contextos urbanos é complexa e demanda uma exploração abrangente, que englobe diversos aspectos da urbanização. A crescente urbanização representa um dos principais fatores que influencia na perda da biodiversidade. Entre os principais efeitos causados estão a perda de habitats, o isolamento de populações, o aumento do efeito de borda, o aumento na mortalidade de indivíduos, a dispersão de espécies exóticas, a modificação no comportamento das espécies e o acesso das perturbações humanas a novas áreas (TROMBULAK & FRISSEL, 2000; FORMAN *et al.*, 2002). A poluição sonora gerada pelas atividades antrópicas se destaca como uma

das perturbações mais importantes, afetando cada espécie de maneira diferencial. Em ambientes urbanos, o ruído pode atuar juntamente com as anomalias artificiais na transmissão sonora, favorecendo determinadas características vocais em populações situadas nestas localidades. Portanto, tais habitats podem exercer pressões seletivas diferenciais, levando a progressivas divergências vocais entre populações de uma mesma espécie (KATTI & WARREN, 2004; FRANCIS & BARBER, 2013; SWADDLE *et al.* 2015).

1.5. Espécie de Estudo

A corruíra, *Troglodytes musculus* Naumann, 1823 (Fig. 1) é uma espécie inserida dentro da família Troglodytidae. Esta família ocorre principalmente na América, sendo mais diversa na América Central e na América do Sul. Apenas uma espécie do gênero (*Troglodytes troglodytes*) foi introduzida em algumas regiões da Europa, Ásia e África. As espécies desta família possuem um tamanho corporal relativamente pequeno (9 - 22 cm), plumagens pouco conspícuas (em cores marrons, avermelhadas, brancas e pretas) e não apresentam dimorfismo sexual.



Figura 1. Indivíduo de *Troglodytes musculus* capturado durante a pesquisa.

Elas são adaptadas a uma diversidade grande de habitats e podem ser encontradas em áreas florestais, bordas de florestas, arbustos, áreas abertas e rochas (eBIRD, 2019). Além disso, muitas espécies se beneficiam da modificação de habitat feita pelo homem, habitando áreas suburbanas e rurais. As espécies são primariamente insetívoras, mas algumas variam os itens alimentares de acordo com a disponibilidade, podendo se alimentar de frutas e sementes em épocas pouco favoráveis. Possuem vocalizações complexas que são relacionadas aos aspectos reprodutivos, como a atração de parceiros sexuais e defesa de território. Estas vocalizações são muito influenciadas pelo aprendizado, e o feedback auditivo é importante para a ontogenia vocal das espécies (KROODSMA & BREWER, 2005).

A espécie *T. musculus* se distribui por toda América do Sul e pelo sul da América Central. Atualmente, existe uma divergência quanto à sua nomenclatura taxonômica. Muitas organizações e comitês tratam o táxon como uma das 31 subespécies pertencente à *Troglodytes aedon*. Vieillot, 1809 (CLEMENTS, 2018; GILL & DONSKER, 2019; REMSEN, 2019). Contudo, o Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO) trata *T. musculus* como espécie distinta de *T. aedon*, devido principalmente a divergências comportamentais, morfológicas e genéticas (BRUMFIELD & CAPPARELLA, 1996; KROODSMA & BREWER, 2005; SOSA-LÓPEZ & MENNILL, 2014; KALUTHOTA 2016), atribuindo à espécie três subespécies distintas: *Troglodytes musculus clarus* Berlepsch & Hartert, 1902, *Troglodytes musculus musculus* Naumann, 1823 e *Troglodytes musculus bonariae* Hellmayr, 1919 (PIACENTINI, 2015). Por esta razão, neste texto, decidi seguir as proposições do CBRO para a espécie, tratando o táxon como *T. musculus*.

A espécie é pequena (12 cm em média), apresentando uma coloração marrom, com a região dorsal mais clara; faixa marrom-clara na região dos olhos; região uropigial acanelada, com rajado escuro nas penas da cauda e das asas (KROODSMA 2019). Ela ocupa diversos habitats, sendo geralmente encontrada em áreas abertas, áreas arbustivas, bordas de florestas e clareiras (SKUTCH, 1953). Ela é uma espécie bem adaptada a áreas perturbadas e aos subúrbios, podendo se beneficiar das mudanças no habitat natural (SICK, 1997). Por ser uma espécie sedentária com pouca movimentação, ela

estabelece territórios e utiliza a vocalização para delimitá-los (JOHNSON, 1998). Estas são bem conspícuas e são emitidas quando a ave está em poleiros expostos (GWYNNE, 2004), o que facilita a identificação do indivíduo emissor.

As vocalizações desta espécie são muito utilizadas na relação social dos indivíduos (PLATT & FICKEN, 1986; JOHNSON & KERMOTT, 1991; MULLER, 1997). Elas mediam principalmente contextos reprodutivos, como a escolha de parceiros, a competição entre machos e o estabelecimento de território (JOHNSON & KERMOTT, 1991). Tais territórios são menores que 1 ha (JOHNSON, 1998; KROODSMA & BREWER, 2005), e a ave, por ser extremamente territorialista e sedentária, dificilmente abandona seu território para vocalizar espontaneamente (KROODSMA 2019). Qualquer ruído que se sobreponha às faixas de frequência em que a ave vocaliza (cerca de 3,0 kHz) (PLATT & FICKEN, 1986) pode reduzir a efetividade do processo comunicativo, diminuindo o sucesso reprodutivo da espécie (SWADDLE & PAGE, 2007). Assim, as vocalizações de *T. musculus* podem demonstrar os efeitos que as intervenções dos ruídos antropogênicos exercem sobre as diferentes populações de aves, permitindo a comparação com ambientes que não sofrem tal perturbação.

1.6. Justificativa

A espécie em estudo é um modelo importante para análise desta tese pelo fato de utilizar a vocalização como principal mediador de sua interação social. A estrutura ambiental poderá ser um fator determinante para definir as modificações estruturais e sintáticas das vocalizações dessa espécie, e isto poderá ser inferido para outras espécies de aves Neotropicais, como fizeram diversos autores em climas temperados. Deste modo, verificarei se existe um real impacto da estrutura do ambiente (*i. e.* ruído antropogênico excessivo e absorção atmosférica do som) na comunicação vocal desta espécie.

Muitas das pesquisas referentes à ecologia acústica se restringem às espécies de aves na Europa e na América do Norte. Os estudos que abordam a acústica da avifauna Neotropical se relacionam com aspectos de comportamento, evolução, sistemática e ecologia intrínsecos das espécies. As poucas pesquisas referentes aos impactos da atividade humana na comunicação sonora das aves abordam

principalmente a estrutura acústica do som e não se focam com outras características, como o repertório vocal e a sintaxe. Portanto, é importante conhecermos a diversidade bioacústica das aves neotropicais, e os estudos nestas áreas contribuem para o entendimento dos componentes dessa diversidade, auxiliando nas decisões em gestão ambiental e conservação ecológica.

Com a urbanização crescente de regiões em desenvolvimento, cresce também os efeitos aberrantes que os estressores urbanos exercem nas comunidades locais de animais. Estes fatores influenciam no modo de vida das populações animais do entorno destes centros, tanto em áreas urbanas quanto periurbanas. Aves de comportamento territorialista que empregam a vocalização como mediadora social sofrem com os efeitos deletérios da absorção e do ruído excessivos (NEMETH, 2013; SWADDLE, 2015), o que poderia diminuir o seu sucesso reprodutivo (KIGHT, 2012). Como citado anteriormente, tais estudos são abundantes em países desenvolvidos, mas são raros justamente nos países Neotropicais em desenvolvimento, como o Brasil, onde grande a urbanização crescente ocorre de maneira desordenada, e os transportes terrestres de serviços e produtos dependem majoritariamente da malha rodoviária. Portanto, o estudo dos impactos gerados pelo ambiente urbano na vocalização de aves permite a compreensão do problema e a busca por soluções viáveis, que permitam um desenvolvimento urbano sustentável.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivos Gerais

Este estudo realizará uma análise das vocalizações de *Troglodytes musculus* em seus parâmetros estruturais (acústicos e sintáticos), com o intuito de verificar as possíveis variações vocal entre duas populações disjuntas de *T. musculus*, buscando relacionar estas variações à estrutura abiótica do ambiente.

1.7.2. Objetivos Específicos

- i. Verificar a existência de divergência vocal entre duas populações de *T. musculus* com relação aos parâmetros de amplitude sonora geral, relacionando-os com os níveis de absorção atmosférica do som e de ruído ambiental antrópico.
- ii. Verificar a existência de divergência vocal entre duas populações de *T. musculus* com relação aos parâmetros de espectrais e temporais das componentes da vocalização (notas e sílabas), relacionando-os com os níveis de absorção atmosférica do som e de ruído ambiental antrópico.
- iii. Verificar a existência de divergência entre os repertórios vocais de duas populações disjuntas de *T. musculus*.
- iv. Verificar a existência de divergência vocal entre duas populações de *T. musculus* com relação aos parâmetros quantitativos sintáticos, relacionando-os com os níveis de absorção atmosférica do som e de ruído ambiental antrópico.

Assim sendo, considera-se duas hipóteses principais a partir desses objetivos:

- H_0 : As vocalizações de *T. musculus* não são diferentes entre as duas populações quanto aos parâmetros de amplitude, de estrutura acústica e de sintaxe.
- H_1 : As vocalizações de *T. musculus* são diferentes entre as duas quanto aos parâmetros de amplitude, de estrutura acústica e de sintaxe.

Desta forma, caso a H_1 seja confirmada, desdobram-se mais duas hipóteses, sendo elas

- H_0 : A divergência nos parâmetros de amplitude, de estrutura acústica e de sintaxe das vocalizações de *T. musculus* não é influenciada diretamente pela estrutura ambiental, sendo originada por outros fatores.
- H_1 : A divergência nos parâmetros de amplitude, de estrutura acústica e de sintaxe das vocalizações de *T. musculus* é influenciada diretamente pela estrutura ambiental.

1.8. Referências

- ALCOCK, J. The evolution of communication. In: _____. **Animal behaviour: An evolutionary approach**. 10ª ed. Sunderland: Sinauer Associates, 1989. p. 67-100.
- ARAYA-SALAS, M. Is birdsong music? Evaluating harmonic intervals in songs of a Neotropical songbird. **Animal Behavior**, v. 84, n. 2, p. 309-313, ago. 2012.
- BASS, H. E.; SUTHERLAND, L. C.; ZUCKERWAR, A. J. Atmospheric absorption of sound: Update. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 88, n. 4, p. 2019-2021, 1990.
- BERMUDEZ-CUAMATZIN, E.; RÍOS-CHELÉN, A. A.; GIL, D; GARCIA, C. M. Strategies of song adaptation to urban noise in the house finch: syllable pitch plasticity or differential syllable use? **Behaviour**, v. 146, n. 9, p. 1269-1286, 2009.
- BERWICK, R. C.; OKANOYA, K.; BECKERS, G. J. L.; BOLHUIS, J. J. Song to syntax: the linguistics of birdsong. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 15, n. 3, p. 113-121, 2011.
- BONCORAGLIO, G; SAINO, N. Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. **Functional Ecology**, v. 21, n. 1, p. 134-142, 2007.
- BRACKENBURY, J. H. Power Capabilities of the Avian Sound-Producing System. **The Journal of Experimental Biology**, v. 78, n. 1, p. 163-166, 1979.
- BRACKENBURY. The structural basis of voice production and its relationship to sound characteristics. In: KROODSMA, D. E.; MILLER, E. H. **Acoustic communication in birds**. 1ª ed. Londres: Academic Press, pp. 53-71, 1982.
- BRADBURY, J. W.; VEHRENCAMP, S. L. **Principles of Animal Communication**. 2ª ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2011. 697 p.
- BRUMFIELD, R. T.; CAPPARELLA, A. P. 1996. Genetic differentiation and taxonomy in the House Wren species group. **Condor**, v. 98, n. 3, pp. 547–556, 1996
- BRUMM, H.; SLABBEKOORN, H. Acoustic communication in noise. In: SLATER, P. J. B.; SNOWDON, C. T.; ROPER, T. J.; BROCKMANN, H. J.; NAGUIB, M. (Orgs.) **Advances in the study behavior**, v. 35. 1ª ed. San Diego: Elsevier, 2005. p. 151-209.
- BRUMM, H; NAGUIB, M. Environmental acoustics and the evolution of bird song. **Advances in the study of behavior**, v. 40. 1ª ed. San Diego: Elsevier, 2009. p. 1-33.
- BRUMM, H.; SLATER, P. J. B. Ambient noise, motor fatigue, and serial redundancy in chaffinch song. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 60, n. 4, p. 475-481. 2006.

- BRUMM, H.; TODT, D. Noise-dependent song amplitude regulation in a territorial songbird. **Animal Behavior**, v. 63, n. 5, p. 891-897, 2002.
- BRUMM, H.; ZOLLINGER, S. A. Avian vocal production in noise. In: BRUMM, H (ed.) **Animal Communication and Noise**, 2013. Berlim: Springer Academic Press. pp. 187–227.
- BYERS, B. E.; KROODSMA, D. E. Avian vocal behavior. In: LOVETTE, I. J; FITZPATRICK, J. W. The Cornell Lab of Ornithology handbook of bird biology. 3ª ed. Chchester: John Wiley & Sons, Ltd., 2019, pp. 355-406.
- CATCHPOLE, C. K.; SLATER, P. J. B. **Bird Song: Biological Themes and Variations**. 2ª ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 348 p.
- CARTWRIGHT, L. A.; TAYLOR, D. R.; WILSON, D. R.; CHOW-FRASER, P. Urban noise affects song structure and daily patterns of song production in Red-winged Blackbirds (*Agelaius phoeniceus*). **Urban Ecosystems**, v. 17, n. 2, p. 561-572, 2014.
- CHAN, A. A. Y-H.; GIRALDO-PEREZ, P.; SMITH, S.; BLUMSTEIN, D. T. Anthropogenic noise affects risk assessment and attention: the distracted prey hypothesis. **Biology Letter**, v. 7, n. 1, p. 468-471, 2010.
- CHENG, L.; WANG, S. H.; CHEN, Q. C.; LIAO, L. M. Moderate noise induced cognition impairment of mice and its underlying mechanisms. **Physiology & Behaviour**, v. 104, n. 5, p. 981-988, 2011
- CHEPESIUK, R. Decibel hell: the effects of living in a noisy world. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, n. 1, p. 34-41, 2005.
- CLEMENTS, J. F.; SCHULENBERG, T. S.; ILIFF, M. J.; ROBERSON, D.; FREDERICKS, T. A.; SULLIVAN, L.; WOOD, C.L. **The eBird/Clements checklist of birds of the world**. 2018. Disponível em: <http://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/>. 2018. Acesso em: 06 jul. 2019.
- COFFIN, A. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. **Journal of Transport Geography**, v. 15, n. 5, p. 396-406, 2007.
- DES AUNAY, G. H; SLABBEKOORN, H.; NAGLE, H.; PASSAS, F.; NICOLAS, P.; DRAGANOIU, T. I. Urban noise undermines female sexual preferences for low-frequency songs in domestic canaries. **Animal Behaviour**, v. 87, n. 1, p. 67-75, 2014.
- DOOLING, R. J.; BLUMENRATH, S. H. Avian Perception in Noise. In: BRUMM, H. **Animal communication and noise**. 1ª ed. Dordrecht: Springer, 2013. p. 229-250.

- eBIRD. **House Wren *Troglodytes aedon***. 2019. Disponível em: <<https://ebird.org/species/houwre>>. Acesso em: 06 jun. 2019.
- EMBLETON, T. F. W. Tutorial on sound propagation outdoors. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 100, n. 1, p. 31-48, 1996.
- ENDLER, J. A. Signals, signal conditions, and the direction of evolution. **The American Naturalist**, v. 139, p. S125-S153, 1992.
- FARINA, A. Sonic Patterns I: The Noise. In: _____. **Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications**. 1ª ed. Dordrecht: Springer, 2014. p. 143-192.
- FERNÁNDEZ-JURICIC, E.; POSTON, R.; DE COLLIBUS, K.; MORGAN, T.; BASTAIN, B.; MARTIN, C.; JONES, K.; TREMINO, R. Microhabitat selection and singing behavior patterns of male house finches (*Carpodacus mexicanus*) in urban parks in a heavily urbanized landscape in the western U. S. **Urban Habitats**, v. 3, n. 1, p. 49-69, 2005.
- FICKEN, R. W.; FICKEN, M. S.; HAILMAN, J. P. Temporal pattern shifts to avoid acoustic interference in singing birds. **Science**, v. 183, n. 4126, p. 762-763, 1974.
- FORMAN, R. T. T.; SPERLING, D.; BISSONETTE, J. A.; CLEVINGER, A. P.; CUTSHALL, C. D.; DALE, V. H.; FAHRIG, L.; FRANCE, R.; GOLDMAN, C. R.; HEANUE, K.; JONES, J. A.; SWANSON, F. J.; TURRENTINE, T.; WINTER, T.C. **Road Ecology: Science and Solutions**. 2ª ed. Washington: Island Press, 2002.
- FRANCIS, C. D.; ORTEGA, C. P.; CRUZ, A. Noise Pollution Changes Avian Communities and Species Interactions. **Current Biology**, v. 19, n. 16, p. 1415-1419, 2009.
- FRANCIS, C. D.; BARBER, J. R. A framework for understanding noise impacts on wildlife: an urgent conservation priority. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 11, n. 6, p. 305-313, 2013.
- GILL, F. Vocalizations. In: _____. **Ornithology**, Nova Iorque: W. H. Freeman Company, 3ª ed, 2007. p. 215-242.
- GILL, F.; DONSKER, D. **IOC World Bird List**. 2019. Disponível em: <<https://www.worldbirdnames.org>>. Acesso em: 05 jun. 2019.
- GOUGH, D. C.; DANIEL, M. J.; NOL, E. Singing seaside: pacific wrens (*Troglodytes pacificus*) change their songs in the presence of natural and anthropogenic noise. **Wilson Journal of Ornithology**, v. 126, n. 2, p. 269-278, 2014.

- GWYNNE, J. A.; RIDGELY, R. S.; TUDOR, G. ARGEL, M. **Aves do Brasil: Pantanal & Cerrado**. 1ª ed. São Paulo: Editora Horizonte, 2010. 322 p.
- HALFWERK, W.; SLABBEKOORN, H. A behavioral mechanism explaining noise-dependent frequency use in urban birdsong. **Animal Behaviour**, v. 78, n. 6, p. 1301-1307, 2009.
- HAMAO, S.; WATANABE, M.; MORI, Y; Urban noise and male density affect songs in the great tit *Parus major*. **Ethology, Ecology and Evolution**, v. 23, n. 2, p. 111-119, 2011.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, D.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds.) **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2007.
- JOB, J. R.; KOHLER, S. L.; GILL, S. A. Song adjustments by an open habitat bird to anthropogenic noise, urban structure, and vegetation. **Behavioral Ecology**, v. 27, n. 6, p. 1734-1744, 2016.
- JOHNSGARD, P. A. **Animal Behaviour**. 2ª ed. Duboque: W.M.C. Brown Company Publishers, 1967.
- JOHNSON, L. S. House Wren (*Troglodytes aedon*). IN: POOLE, A.; GILL, F. (eds.). **The Birds of North America**. Filadélfia: Academy of Natural Sciences & Washington: American Ornithologists' Union, 1998.
- JOHNSON, L. S.; KERMOTT, L. H. The function of song in male House Wren (*Troglodytes aedon*). **Behaviour**, v. 116, n. 3-4, p. 109-209, 1991.
- KATTI, M.; WARREN, P. S. Tits, noise and urban bioacoustics. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdã v. 19, n. 3, p. 109-110, 2004.
- KALUTHOTA, C.; BRINKMAN, B. E.; DOS SANTOS, E. B.; RENDALL, D. 6). Transcontinental latitudinal variation in song performance and complexity in house wrens (*Troglodytes aedon*). **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1824, p. 20152765, 2016.
- KANSKY, K. J. **Structure of Transportation Networks: Relationships between network geometry and regional characteristics**. Tese (Doutorado em Geografia). Chicago, Department of Geography, The University of Chicago, 1963.
- KIGHT, C. R.; SWADDLE, J. P. Eastern bluebirds alter their song in response to anthropogenic changes in the acoustic environment. **Integrative and Comparative Biology**, v. 55, n. 2, p. 418-431, 2015.

- KIGHT, C. R.; SAHA, M. S.; SWADDLE, J. P. Anthropogenic noise is associated with reductions in the productivity of breeding Eastern Bluebirds (*Sialia sialis*). **Ecological Applications**, v. 22, n. 7, p. 1989-1996, 2012.
- KRAUSE, B. Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. **Whole Earth Review**, v. 57, n. 1, 1987, p. 1-11.
- KROODSMA, D. E.; BREWER, D. Family Troglodytidae (Wrens). In: DEL HOYO, J.; ELLIOT, A.; CHRISTIE, D.A. **Handbook of the birds of the world: Cuckoo-shrikes to Thrushes**. Vol. 10. Barcelona: Lynx Editions, 2005, p. 357-447.
- LAMBRECHTS, M. M.; DHONDT, A. A. Individual voice discrimination in birds. In: **Current ornithology**, v. 1. Springer: Boston, 1995. p. 115-139.
- LOMBARD, E. Le signe de l'elevation de la voix. **Annales des maladies de l'oreille, du larynx, du nez et du pharynx**, v. 37, n. 2, p. 101-119, 1911.
- MAAN, M. E.; SEEHAUSEN, O. Ecology, sexual selection and speciation. **Ecology letters**, v. 14, n. 6, p. 591-602, 2011.
- MARLER, P.; SLABBEKOORN, H. **Nature's Music: The science of birdsong**. 1^a ed. San Diego: Elsevier Academic Press, 2004. 513 p.
- McGREGOR, P. K; HORN, A. G.; LEONARD, M. L.; THOMSEN, F. Anthropogenic Noise and Conservation. In: BRUMM, H. **Animal communication and noise**. 1^a ed. Dordrecht: Springer, 2013. p. 409-444.
- MOLINO, J. Toward an evolutionary theory of music and language. In: WALLIN, N. L.; MERKER, B.; BROWN, S. **The origins of music**. 1^a ed. Massachusetts: MIT Press, 2000, p. 165-176.
- MORTON, E. S. Ecological sources of selection on avian sounds. **The American Naturalist**, v. 109, n. 965, p. 17-34, 1975.
- MULLER, K. L.; STAMPS, J. A.; KRISHNAN, V. V.; WILLITS, N. H. The effects of conspecific attraction and habitat quality on habitat selection in territorial birds (*Troglodytes aedon*). **The American Naturalist**, v. 150, n. 5, p. 650-661, 1997.
- NAGUIB, M. Reverberation of rapid and slow trills: implications for signal adaptations to long-range communication. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 113, n. 3, p. 1749-1756, 2003.
- NEMETH, E.; PIERETTI, N.; ZOLLINGER, S. A.; GEBERZAHN, N.; PARTECKE, J.; MIRANDA, A. C.; BRUMM, H. Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may

- explain why birds sing higher-frequency songs in cities. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 280, n. 1754, 2013.
- ODEN, A. I.; BROWN, M. B.; BURBACHM M. E.; BRANDLE, J. R.; QUINN, J. E. Variation in avian vocalizations during the non-breeding season in response to traffic noise. **Ethology**, v. 121, n. 5, p. 472-479, 2015.
- PALUMBI, S. R. Humans as the world's greatest evolutionary force. **Science**, v. 293, n. 5536, p. 1786-1790, 2001.
- PATRICELLI, G. L.; BLICKLEY, J. L. Avian Communication in Urban Noise: Causes and Consequences of Vocal Adjustment. **The Auk**, v. 123, n. 3, p. 639-649, p. 2006.
- PARRIS, K. M. Ecological impacts of road noise and options for mitigation. In: van der REE, R.; SMITH, D. J.; GRILO, C. **Handbook of road ecology**, 1^a ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2015. p. 151-158.
- PERRIN, N; TRAVIS, J. On the use of constraints in evolutionary biology and some allergic reactions to them. **Functional Ecology**, v. 6, n. 3, p. 361-363, 1992.
- PIACENTINI, V. de Q. *et al.* Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee/Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 23, n. 2, p. 91-298, 2015.
- PIJANOWSKI, B. C. *et al.* Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. **BioScience**, v. 61, n. 3, p. 203-216, 2011.
- PLATT, M. E; FICKEN, M. S. Organization of singing in House Wrens. **Journal of Field Ornithology**, v. 58, n. 2, p. 190-197, 1987.
- PODOS, J.; HUBER, S. K.; TAFT, B. Bird song: The interface of evolution and mechanism. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, n. 1, p. 55-87, 2004.
- POTVIN, D. A.; MACDOUGALL-SHACKLETON, S. A. Experimental chronic noise exposure affects adult song in zebra finches. **Animal Behaviour**, v. 107, n. 1, p. 201-207, 2015.
- QUINN, J. L.; WHITTINGHAM, M. J.; BUTLER, S. J.; CRESSWELL, W. Noise, predation risk compensation and vigilance in the chaffinch *Fringilla coelebs*. **Journal of Avian Biology**, v. 37, n. 6, p. 601-608, 2006.
- RABIN, L. A.; COSS, R. G.; OWINGS, D. H. The effects of wind turbines on antipredator behavior in California ground squirrels (*Spermophilus beecheyi*). **Biological Conservation**, v. 131, n. 3, p. 410-420, 2006.

- RAVIGNANI, A. V. The evolution of rhythm: a comparative approach to speech and music. In: XXV International Bioacoustics Congress, 25. **Anais...**Murnau, 2015.
- REMSEN, J. V.; ARETA, J. I.; CADENA, C. D.; CLARAMUNT, S.; JARAMILO, A.; PACHECO, J. F.; ROBBINS, M. B.; STILES, F. G.; STOTZ, D. F.; ZIMMER, K.J. 2019. **A classification of the bird species of South America**. 2019. Disponível em: <<http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCWordFiles/SACCBaseline01.html>>. Acesso em: 10 jul. 2019.
- RIÓS-CHELÉN, A. A.; LEE, G. C.; GAIL, L. Anthropogenic noise is associated with changes in acoustic but not visual signals in red-winged blackbirds. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 69, n. 7, p. 1139-1151, 2015.
- RIPMEESTER, E. A. P.; DE VRIES, A. M.; SLABBEKOORN, H. Do Blackbirds Signal Motivation to Fight with Their Song? **Ethology**, v. 113, n. 11, p. 1021-1028, 2007.
- SCHAFER, R. M. **The soundscape**: Our sonic environment and the tuning of the world. Londres: Simon and Schuster, 1993.
- SCHUSTER, S.; ZOLLINGER, S. A.; LESKU, J. A. BRUMM, H. On the evolution of noise-dependent vocal plasticity in birds. **Biology Letters**, v. 23, n. 8, p. 913-916, 2012.
- SEARCY, W. A.; YASUKAWA, K. Use of the song repertoire in intersexual and intrasexual contexts by male red-winged blackbirds. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 27, n. 2, p. 123-128, 1990.
- SEDDON, N. Ecological adaptation and species recognition drives vocal evolution in Neotropical suboscine birds. **Evolution**, v. 59, n. 1, p. 200-215, 2005.
- SKUTCH, A. F. Life history of the Southern House Wren. **Condor**, v. 55, n. 1, p. 121-149. 1954.
- SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. 1ª ed. Urbana: University of Illinois Press, 1949. 144 p.
- SHANNON, G.; ANGELONI, L. M.; WITTEMYER, G.; FRISTRUP, K. M.; CROOKS, K. R. Road traffic noise modifies behaviour of a keystone species. **Animal Behaviour**, v. 94, n. 1, p. 135-141, 2014.
- SIEMERS, B. M.; SCHAUB, A. Hunting at the highway: traffic noise reduces foraging efficiency in acoustic predators. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 278, n. 1, p. 1646-1652, 2010.
- SICK, H. **Ornitologia Brasileira**: uma introdução. 2ª ed. Brasília: Linha Gráfica Editora, 1997. Vol. II, 827 p.

- SIH, A.; FERRARI, M. C. O.; HARRIS, D. J. Evolution and behavioural responses to human-induced rapid environmental change. **Evolutionary Applications**, v. 4, n. 2, p. 167-187, 2011.
- SILVA, M. L. da. **Estrutura e organização de sinais de comunicação complexos: o caso do sabiá-laranjeira *Turdus rufiventris* (Aves, Passeriformes, Turdinae)**. Tese (Doutorado em Psicologia). Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- SNELL-ROOD, E. C. The effect of climate on acoustic signals: Does atmospheric sound absorption matter for bird song and bat echolocation? **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 131, n. 2, p. 1650-1658, 2012.
- SPECTOR, D. A. Definition in biology: The case of “bird song”. **Journal of Theoretical Biology**, v. 168, n. 4, p. 373-381, 1994.
- SLABBEKOORN, H. Songs of the city: noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds. **Animal Behaviour**, v. 85, n. 5, p. 1089-1099, 2013.
- SLABBEKOORN, H.; PEET, M. Birds sing at higher pitch in urban noise. **Nature**, v. 464, n. 6946, p. 267, 2003.
- SLABBEKOORN, H.; RIPMEESTER, E. A. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. **Molecular Ecology**, v. 17, n. 1, p. 72-83, 2008.
- SLABBEKOORN, H.; SMITH, T. B. Habitat dependent song divergence in the little yehgreenbul: an analysis of environmental selection pressures on acoustic signal. **Evolution**, v. 56, n. 9, p. 1849-1858, 2002
- SLABBEKOORN, H.; YEH, P.; HUNT, K. Sound transmission and song divergence: a comparison of urban and forest acoustics. **Condor**, v. 109, n. 1, p. 67-78, 2007.
- SOSA-LÓPEZ, J. R.; MENNILL, D. J. Continent-wide patterns of divergence in acoustic and morphological traits in the House Wren species complex. **The Auk**, v. 131, n. 1, p. 41-54, 2014.
- SØRENSEN, M.; ANDERSEN, Z. J.; NORDSBORG, R. B.; BECKER, T., TJØNNELAND, A.; OVERVAD, K.; RAASCHOU-NIELSEN, A. Long-term exposure to road traffic noise and incident diabetes: a cohort study. **Environmental Health Perspectives**, v. 121, n. 2, p. 217-222, 2013.
- SWADDLE, J. P.; PAGE, L. C. High levels of environmental noise erode pair preferences in zebra finches: implications for noise pollution. **Animal Behaviour**, v. 74, n. 3, p. 363-368, 2007.
- SWADDLE, J. P.; FRANCIS, C. D.; BARBER, J. R.; COOPER, C. B.; KYBA, C. C. M.; DOMINONI, D. M.; SHANNON, G.; ASCHEHOUG, E.; GOODWIN, S. E.; KAWAHARA,

- A. Y.; LUTHER, D.; SPOELSTRA, K.; VOSS, M.; LONGCORE, T. A framework to assess evolutionary responses to anthropogenic light and sound. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 30, n. 9, p. 550-560, 2015.
- TAAFFE, E. J.; MORRILL, R. L.; GOULD, P. R. Transport expansion in underdeveloped countries: A comparative analysis. **Geographical Review**, v. 54, n. 4, p. 503–529, 1963.
- TROMBULAK, S. C.; FRISSELL, C. A. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. **Conservation Biology**, v. 14, n. 1, p. 18-30, 2000.
- WARREN, P. S.; KATTI, M.; ERMANN, M.; BRAZEL, A. Urban bioacoustics: it's not just noise. **Animal Behaviour**, v. 71, n. 3, p. 491-502, 2006.
- WHO. **Burden of disease from environmental noise**: quantification of healthy life years lost in Europe. World Health Organization, Genebra, 2011. Disponível em: <www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf>. Acessado em: 13/03/2016.
- WILEY, R. H. Adaptations for acoustic communication in birds: sound transmission and signal detection. **Acoustic communication in birds**, v. 1. San Diego: Elsevier Academic Press, 1982. p. 131-181.
- WILEY, R. H; RICHARDS, D. G. Physical constraints on acoustic communication in the atmosphere: implications for the evolution of animal vocalizations. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 3, n. 1, p. 69-94, 1978.
- WILKINS, M. R.; SEDDON, N.; SAFRAN, R. J. Evolutionary divergence in acoustic signals: causes and consequences. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 28, n. 3, p. 156-166, 2013.
- ZOLLINGER, S. A. Environmental noise and the evolution of vocal plasticity. In: INTERNATIONAL BIOACOUSTICS CONGRESS, 24., 2013, Pirenópolis. **Anais...Pirenópolis: Pousada dos Pirineus**, 2013.
- ZOLLINGER, S. A.; BRUMM, H. Why birds sing loud songs and why they sometimes don't. **Animal Behavior**, v. 105, n. 1, p. 289-295, 2015.

CONCLUSÃO

Neste estudo, observa-se que a variação vocal foi diagnosticada nos três níveis: intensidade, estrutura e sintaxe. Isto demonstra que as nossas observações corroboram com as hipóteses levantadas de que (1) as vocalizações são distintas entre as duas populações a níveis de ruído distintos; e (2) as características abióticas do ambiente influenciam diretamente na estrutura vocal dos indivíduos. Dentre os principais influenciadores, estão o ruído ambiental antropogênico produzido pelo tráfego rodoviário e a absorção atmosférica do som causada pelos efeitos de temperatura e umidade. Assim, observei as características vocais de amplitude, tempo, frequência, sintaxe e repertório sendo diretamente e indiretamente afetadas pela estrutura abiótica do ambiente onde os indivíduos se inserem. Tais variações podem ter um impacto relevante na biologia da espécie, indicando a possível ocorrência de divergências fenotípicas passíveis de seleção ecológica, o que acarretaria em uma divergência evolutiva incipiente dentro da espécie. Assim, este estudo se firma como um passo importante no entendimento das pressões que o ambiente urbanizado impõe às espécies, podendo ser utilizado como um modelo para outras espécies que utilizam a vocalização como mediador de suas atividades. Com isso, a compreensão dos mecanismos que operam na seleção dos sinais vocais pode ser de suma importância para estudos posteriores que englobem o manejo da paisagem acústica na conservação de espécies.